



TITLE:

ブレーキ鳴き低減のためのディスク  
ブレーキ設計法( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

松島, 徹

---

CITATION:

松島, 徹. ブレーキ鳴き低減のためのディスクブレーキ設計法. 京都大学  
, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r13097>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	松 島 徹
論文題目	ブレーキ鳴き低減のためのディスクブレーキ設計法		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、自動車の快適な運転環境を使用者に提供することを目的として進められている車両の振動、騒音低減に関する諸課題の中でも特に重要な課題である自動車のディスクブレーキを対象としたブレーキ鳴き低減に関する設計法を論じている。本論文は6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と本研究の目的および論文の構成について述べている。ディスクブレーキの構成と構造を紹介した後、ブレーキ鳴きの従来研究を現象解明、解析法、低減技術に整理し俯瞰している。これにより、ブレーキ鳴きの現象の主要因が、ブレーキディスクとパッド間の摩擦面における摩擦力変動が原因となって生じる自励振動であることを示している。さらに、現状のブレーキ鳴き対策では、設計が行われた後に、自動車の実際の使用環境条件を想定した CAE 評価や試作試験を行い、発生するブレーキ鳴きを低減するという、対処療法的な方法が用いられているのみであり、設計段階でブレーキ鳴きを未然に防止する方法論は一切確立されていないことを指摘している。そして本研究では、この課題を解決するために、設計段階においてブレーキシステムの自励振動を抑制することにより、ブレーキ鳴きの低減を図る新しい方法論の構築を主目的としていることを述べている。</p> <p>第2章では、ディスクブレーキ構想設計におけるブレーキ鳴き発生を抑制するための設計法を提案している。最初に、検討の対象を 1kHz から 5kHz で発生する低周波数ブレーキ鳴きとし、この場合のブレーキ鳴き発生時のブレーキ振動モードの特徴の分析に基づいて、ブレーキ鳴き性能と構想設計で検討される諸元および特性を関連付ける5自由度のブレーキ鳴き解析簡易モデルを構築している。この簡易モデルの運動方程式の定式化では、ブレーキ鳴きの発生原因である摩擦力変動が非対称剛性行列と変位ベクトルとの積で表現され、この振動系の固有振動数解析を行うことで、ブレーキ鳴きの性能評価が可能であることを説明している。次に、非対称剛性行列項の値を決定するディスク・パッド間の摩擦係数と接触剛性がブレーキ使用環境条件で変化する不確定因子であることを述べ、これらの因子がブレーキ鳴き発生に及ぼす影響を簡易モデルによる数値解析を通じて明らかにし、構築した簡易モデルの解析によってブレーキ鳴きの発生メカニズムが明確にできることを示している。さらに、不確定因子の1つである接触剛性の変動がブレーキ鳴き発生に及ぼす影響についての解析結果が実験の結果に一致することを示し、簡易モデルの妥当性を検証している。そして、以上の検討の結果に基づき、ブレーキ鳴き性能と設計諸元および特性との関係が明確化可能で、かつ、ブレーキ鳴き発生抑制のための設計指針を提供する、新しい設計評価尺度を提案し、その評価尺度に基づいた設計法の構築を行い、その構築した設計法を、実際のブレーキ鳴き低減設計に適用し、その有効性を示している。</p> <p>第3章では、第2章で考慮した不確定因子であるディスク・パッド間の摩擦係数、接触剛性に加え、接触剛性分布の変動をも考慮しながら、ブレーキの性能向上と鳴き抑制を両立させるための構想設計法について述べている。すなわち、上述の不確定因子に加え、接触剛性分布の変動について、変動パラメータとして新たに接触剛性変化勾配係数を提案し、不確定因子であるディスク・パッド間の摩擦係数、接触剛性、接</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	松 島 徹
<p>触剛性分布の変動を考慮した簡易モデルを構築している。そして、この簡易モデルにより、不確定因子の変動がブレーキ鳴き発生に及ぼす影響を定量的に評価しながら、ブレーキの最適設計諸元を求める方法を提案している。すなわち、ブレーキの性能向上と鳴き抑制を両立させることを目的とし、パッド中心角をブレーキ性能に関連する設計変数とし不確定因子の変動によるブレーキ鳴き発生抑制を制約条件としながら、パッド中心角を目的関数とする最適設計法を構築している。なお、最適設計法の制約条件は滑らかな関数とはならず、通常の数理計画法に基づく最適化アルゴリズムは利用できないため、最適化には遺伝的アルゴリズムを用いている。そして、ここで提案した最適設計法によって、得られるパッド中心角がブレーキ鳴きの発生する臨界値となっていることを、パッド中心角をパラメータとした数値解析で確認している。さらに、実験によりパッド中心角の最適解の妥当性を確認することで、ブレーキの性能向上と鳴き抑制を両立させる最適設計が可能であることを示している。</p> <p>第4章では、ディスクブレーキの詳細設計において、ブレーキ鳴き発生を抑制するための部品間接触剛性の最適設計法について述べている。最初にディスク・パッド間の接触面を対象に、接触面を8分割した有限要素法によるブレーキ鳴き解析モデルを用い、接触位置がブレーキ鳴き発生に及ぼす影響を定量的に評価している。すなわち、部品間接触剛性の適正化には、面接触による接触剛性を分布ばねで表現し、複素固有値の実部に対するばね剛性の感度から、接触面形状を決定する方法が必要であることを述べており、その方法論として高感度部位削除法を提案している。そして、提案した方法を乗用車用ディスクブレーキのディスク・パッド間の接触面形状の設計に適用し、5kHz から 10kHz で発生するブレーキ鳴きを対象にブレーキ鳴き発生の抑制が可能であることを示すことで有用性を検証している。また、提案した方法は、パッド・キャリパ間の面接触部位にも適用が可能であることを述べている。</p> <p>第5章では、ディスクブレーキの構成部品設計法として、ブレーキの鳴きと制動性能に大きく影響するブレーキディスクに着目し、ブレーキの鳴き低減と冷却性能向上を考慮したディスクフィン部のトポロジー最適設計法について述べている。最初にブレーキ鳴き低減がディスク固有振動数の最大化により達成でき、また、冷却性能向上はディスクフィン部からの放熱量の最大化として定式化できることを示している。そして、これら固有振動数と放熱量の同時最大化のための目的関数に、製造要件であるフィンの等断面形状を創出する正則化項を加え、最適設計法を構築している。数値例により、滑らかな境界を有したディスクフィン部の最適構造が得られること、ディスクの固有振動数と冷却性能の最大化は相反関係にあるが、熱交換量の増加に比べ固有振動数の低下が少ないことが示され、提案した最適設計法により、ブレーキの鳴き性能の低下を極力抑え、冷却性能を大幅に向上させる設計が可能であることを述べている。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、ブレーキ鳴き発生を抑制することでブレーキ鳴きを低減するディスクブレーキ設計法の確立を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. ディスクブレーキ構想設計において、ブレーキ鳴き発生を抑制するための設計法を提案した。構想設計で検討される諸元および特性とブレーキ鳴き性能を関連付けるブレーキ鳴き解析簡易モデルを構築し、実験検証により簡易モデルの妥当性を示した。構築した簡易モデルにより、不確定因子である摩擦係数と接触剛性の変動とブレーキ鳴き発生の関連から、ブレーキ鳴きの現象と発生メカニズムを解明し、ブレーキ鳴き発生抑制のための設計指針を提供可能とする新しい設計評価尺度を提案した。さらに、設計例により提案した設計法の妥当性と有効性を示した。

2. ディスクブレーキ構想設計において、不確定因子の変動により発生するブレーキ鳴きを抑制し、ブレーキ性能との両立を可能とする最適設計法を構築した。不確定因子であるディスク・パッド間の摩擦係数、接触剛性、接触剛性分布の変動を考慮した簡易モデルを構築し、その接触剛性分布の変動パラメータとして、新たに接触剛性変化勾配係数を提案した。ブレーキの性能向上と鳴き抑制の両立を図るため、ブレーキ鳴きの抑制を制約条件にパッド中心角の最大化を目的関数とした最適設計法を構築した。この最適設計法により得られた最適解を実験により検証し、構築した最適設計法の妥当性を示した。

3. ディスクブレーキの詳細設計において、ブレーキ鳴き発生を抑制するための部品間接触剛性の最適設計法を構築した。すなわち、部品間の面接触による接触剛性を分布ばねで表現し、ばねの複素固有値の実部に対する感度から最適な接触面形状を求める方法として高感度部位削除法を提案した。そして、ディスク・パッド間の接触面形状の設計に適用した数値例により、提案する手法の有用性を示した。

4. ブレーキの鳴き低減と冷却性能向上の両立を目指したディスクフィン部のトポロジー最適設計法に基づくディスクブレーキの構成部品設計法を提案した。すなわち、ブレーキ鳴き低減と冷却性能向上を、ディスクの固有振動数とフィン部からの放熱量の同時最大化として取り扱い、加えてフィンを等断面とする製造要件を考慮した最適設計法を構築した。ディスクの固有振動数と冷却性能の最大化は相反関係にあるが、提案した最適設計法を用いることで、ブレーキの鳴き性能低下を極力抑え、冷却性能を大幅に向上させる設計が可能であることを示した。

以上のように本論文は、ディスクブレーキ設計において、ブレーキ鳴きを抑制する方法論を構築し、実験検証により妥当性を、設計例、数値例により有効性を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年2月2日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。